

Verfahren und Vorrichtung zum thermischen Behandeln
von scheibenförmigen Substraten

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung
5 zum thermischen Behandeln von scheibenförmigen Substraten, insbesondere
Halbleiterwafern, in einer Schnellheizanlage mit wenigstens einer vom Sub-
strat beabstandeten ersten Strahlungsquelle zum Erwärmen wenigstens eines
Substrats, bei dem das Substrat in einer Heizphase erwärmt und einer da-
rauffolgenden Kühlphase abgekühlt wird.

10 Derartige Verfahren und Vorrichtungen sind in der Halbleitertechnik vielfach
bekannt. Schnellheizanlagen, die auch als RTP-Anlagen (Rapid Thermal Pro-
cessing-Anlagen) bezeichnet werden, können unterschiedliche Aufbauten be-
sitzen, um Halbleiterwafer innerhalb kürzester Zeit auf Temperaturen über 300
15 °C zu bringen und anschließend wieder abzukühlen.

Bei einer bekannten RTP-Anlage wird ein Halbleiterwafer vertikal über einen
mechanischen Handhabungsmechanismus in einer Prozesskammer hoch und
runter bewegt, wobei innerhalb der Prozesskammer ein radial symmetrisches
20 und sich vertikal veränderndes, zeitlich konstantes Temperaturfeld vorgese-
hen ist. Hierdurch lässt sich eine rasche Aufheizung des Wafers auf die ge-
wünschte Temperatur erreichen. Jedoch ergibt sich das Problem, zeitaufge-
löst homogene Temperaturen über den Wafer hinweg zu erreichen, da bei
dieser Art Vorrichtung keine Kompensationsmöglichkeiten für Temperaturin-
25 homogenitäten über den Wafer hinweg vorgesehen sind.

Bei einer alternativen RTP-Anlage werden die Halbleiterwafer über Strah-
lungsquellen, insbesondere Halogenlampen und/oder Bogenlampen erhitzt.
Ein Beispiel einer solchen RTP-Anlage ist in der auf dieselbe Anmelderin zu-
30 rückgehenden DE 199 05 524 A beschrieben. Bei dieser gezeigten RTP-
Anlage werden Halbleiterwafer in eine obere und untere Quarzwände aufwei-
sende Prozesskammer transportiert und auf Quarzstiften innerhalb der Pro-
zesskammer abgelegt. Eine Erwärmung des Substrats erfolgt über oberhalb

und unterhalb der Prozesskammer angeordnete Heizlampen, wie beispielsweise Halogenlampen, die jeweils in oberen und unteren Lampenbänken angeordnet sind. Durch entsprechende Ansteuerung der Lampen der oberen oder unteren Lampenbank lassen sich Temperaturinhomogenitäten über die Substratfläche hinweg gut ausgleichen. Ferner ermöglichen die Quarzlampen eine hohe Aufheizrate des Wafers.

Bei dieser bekannten Anlage ergibt sich jedoch das Problem, dass die Wafer auf Substratstiften abgelegt werden, wodurch bei Erwärmung und Ausdehnung des Wafers Kratzer in der Waferoberfläche entstehen können. Darüber hinaus entstehen an bzw. in der Nähe der Auflagepunkte lokale Temperaturgradienten zur Auflage hin. Hierdurch entstehen sogenannte Dislocations oder Versetzungslinien in der Kristallstruktur des Halbleiterwafers, welche die Funktion beeinträchtigen können.

Ferner ergibt sich bei den bekannten Anlagen das Problem, dass sie zwar eine sehr rasche Aufheizung des Wafers ermöglichen, jedoch eine Abkühlung nicht mit derselben Geschwindigkeit möglich ist. Dies liegt daran, dass eine Abkühlung der Wafer im Wesentlichen nur über vom Wafer ausgehende Wärmestrahlung erfolgt. Zwar ist es auch angedacht, eine Abkühlung zumindest teilweise über eine Gasströmung innerhalb der Prozesskammer zu erreichen, dies bringt jedoch Probleme mit sich, da die Gasströmung Temperaturinhomogenitäten über die Oberfläche des Substrats hinweg erzeugen kann.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zu Grunde, eine rasche Abkühlung von Substraten in einer Schnellheizanlage zu ermöglichen. Darüber hinaus liegt der vorliegenden Erfindung auch die Aufgabe zu Grunde, die durch Auflageelemente entstehenden Probleme zu eliminieren.

Erfindungsgemäß wird die der Erfindung zu Grunde liegenden Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass das Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Kühlphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von einer Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten

wird. Durch die Nähe des Substrats zu der Heiz/Kühlplatte ergibt sich eine Wärmeleitung dazwischen, was höhere Abkühlraten des Substrats ermöglicht. Da das Substrat beabstandet gehalten wird, ergeben sich keine Kontaktpunkte dazwischen, die zu den oben genannten Fehlern führen können. Vorzugsweise liegt der Abstand zwischen 150 und 500 μm .

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Substrat während der thermischen Behandlung mittels Ultraschalllevitation in der Schnellheisanlage gehalten. Die Ultraschalllevitation ermöglicht ein kontaktloses Halten der Substrate und ermöglicht ferner das Halten der Substrate mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm, insbesondere zwischen 150 und 500 μm . Vorzugsweise weist die Heiz/Kühlplatte wenigstens eine erste Ultraschallelektrode auf, so dass die Ultraschalllevitation und die Abstandseinstellung über die Heiz/Kühlplatte erfolgen kann. Hierbei weist die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine der Form und Größe des Substrats im Wesentlichen entsprechende flache Abstrahlfläche auf, so dass die gesamte Oberfläche eines Substrats im Wesentlichen gleichmässig beabstandet gehalten wird und auch eine gleichmässige Abkühlung des Substrats über dessen gesamte Oberfläche möglich ist.

20

Bei einer Ausführungsform der Erfindung weist die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine zur flachen Abstrahlfläche geneigte Abstrahlfläche auf, durch die das Substrat in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten wird. Die geneigte Abstrahlfläche ermöglicht insbesondere eine Zentrierung eines Substrats gegenüber der flachen Abstrahlfläche.

25

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens eine zweite Ultraschallelektrode vorgesehen, die zur ersten Ultraschallelektrode abgewinkelt und/oder bewegbar ist. Durch die abgewinkelte zweite Ultraschallelektrode lässt sich wiederum eine seitliche Positionierung des Substrats vornehmen. Durch eine bewegbare Ultraschallelektrode ist es möglich, das Substrat bezüglich der Heiz/Kühlplatte zu bewegen und den Abstand zwischen Heiz/Kühlplatte und Substrat während der thermischen Behandlung zu verän-

30

dern. Vorzugsweise wird das Substrat durch die zweite Ultraschallelektrode in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Substrat während der Aufheizphase in einem größeren Abstand zur Wärmesenke gehalten (bevorzugt $> 500 \mu\text{m}$), um die Wärmeverluste in dieser Phase klein zu halten, dann während eines Anfangsabschnitts der Kühlphase mit einem Abstand zwischen $50 \mu\text{m}$ und 1 mm , insbesondere zwischen 150 und $500 \mu\text{m}$, von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten und während des folgenden Abschnitts der Kühlphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten. Dies ermöglicht ein schaltbares, anfängliches rasches Abkühlen des Substrats über Wärmeleitung gefolgt durch eine weniger rasche Abkühlphase über vom Substrat ausgehende Wärmestrahlung. Hierdurch lässt sich ein bevorzugtes Kühlprofil einstellen. Für eine möglichst effiziente und rasche Abkühlung wird das Substrat so lange mit einem Abstand zwischen $50 \mu\text{m}$ und 1 mm , insbesondere zwischen 150 und $500 \mu\text{m}$, von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten, bis es im Wesentlichen die Temperatur der Heiz/Kühlplatte erreicht hat. Dabei besitzt die Heiz/Kühlplatte vorzugsweise eine wesentlich größere thermische Masse als das Substrat, damit die Temperatur der Heiz/Kühlplatte durch die von dem Substrat aufgenommene Wärme im Wesentlichen unbeeinflusst ist. Die Querleitfähigkeit der Wärme kann durch geeignete Wahl ein gewünschtes Temperaturprofil erzeugen, insbesondere kann eine hohe Wärmeleitfähigkeit eine hohe Temperaturhomogenität gewährleisten.

25

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Temperatur der Heiz/Kühlplatte gesteuert, um hierdurch ein vorgegebenes Heiz/Kühlprofil zu ermöglichen.

Um eine beidseitige Erwärmung des Substrats über beabstandete Strahlungsquellen zu ermöglichen, ist die Heiz/Kühlplatte vorzugsweise für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen transparent. Um eine effi-

ziente Abkühlung zu erreichen, ist die Heiz/Kühlplatte hingegen für vom Substrat stammende Wärmestrahlung im Wesentlichen opaque.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens eine zweite Strahlungsquelle auf der vom Substrat abgewandten Seite der Heiz/Kühlplatte vorgesehen, wobei die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der zweiten Strahlungsquelle im Wesentlichen opaque ist und die Heiz/Kühlplatte wenigstens teilweise während der thermischen Behandlung über die zweite Strahlungsquelle erwärmt wird. Hierdurch wird eine Erwärmung der Heiz/Kühlplatte ermöglicht, um sie auf eine vorgegebene Temperatur zu bringen. Dies ermöglicht während des Erwärmens des Substrats eine Erwärmung über die Heiz/Kühlplatte, was vorteilhaft ist, da Halbleiterwafer je nach Konfiguration häufig unter einer Temperatur von 600 °C für die eingesetzten Strahlungsquellen, wie beispielsweise Halogenlampen, im Wesentlichen transparent sind. Dabei weist die zweite Strahlungsquelle vorzugsweise eine unterschiedliche Wellenlänge zur ersten Strahlungsquelle auf, um gegebenenfalls zu ermöglichen, dass die Heiz/Kühlplatte von der ersten Strahlungsquelle stammende Strahlung hindurchlässt, um direkt auf das Substrat zu wirken.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung weist die Heiz/Kühlplatte wenigstens einen Hohlraum zur Aufnahme eines Fluids auf, das entweder zum Beheizen und/oder Kühlen der Heiz/Kühlplatte eingesetzt werden kann. Insbesondere wird während eines Anfangsabschnitts der Heizphase ein die Strahlung der ersten Strahlungsquelle absorbierendes Fluid in die Heiz/Kühlplatte eingeleitet, um hierüber die Heiz/Kühlplatte zu erwärmen. Wenn es gewünscht ist, dass von der ersten Strahlungsquelle stammende Strahlung direkt auf das Substrat wirkt, wird ein für die Strahlung transparentes Fluid in die Heiz/Kühlplatte eingeleitet. Hierüber lässt sich die Transparenz der Heiz/Kühlplatte während der thermischen Behandlung der Substrate in gewünschter Weise verändern. Das jeweilige Fluid kann dabei statisch innerhalb der Heiz/Kühlplatte gehalten werden, oder ständig dort hindurch geleitet werden, und zwar insbesondere zum Abkühlen der Heiz/Kühlplatte, wenn dies erforderlich ist.

Um die Heiz/Kühlplatte effizient auch während der Heizphase einzusetzen, wird das wenigstens eine Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm, insbesondere zwischen 150 und 500 μm , von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten. Dabei wird das wenigstens eine Substrat vorzugsweise während eines Anfangsabschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm, insbesondere zwischen 150 und 500 μm , von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten und während des folgenden Abschnitts der Heizphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten. Hierdurch lässt sich während des Anfangsabschnitts eine rasche Aufheizung wenigstens teilweise über Wärmeleitungen erreichen, wobei während des folgenden Abschnitts eine Aufheizung ausschließlich über die Strahlung der Strahlungsquellen, die in bekannter Weise eine hohe Dynamik aufweisen, ermöglicht wird.

Für eine Homogenisierung der Temperatur des Substrats über seine Fläche hinweg wird das Substrat wenigstens während Teilabschnitten der thermischen Behandlung gedreht. Dabei wird das Substrat vorzugsweise mit einem rotierenden Schallfeld gedreht, um eine kontaktlose Drehung zu ermöglichen.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird das Substrat durch Rotation der Heiz/Kühlplatte und/oder durch Rotation wenigstens einer Ultraschallelektrode gedreht, wobei die Rotation der Heiz/Kühlplatte und/oder der Ultraschallelektrode auch eine Drehung des Substrats bewirkt, selbst wenn diese nicht direkt in Kontakt stehen.

Bei einer weiteren alternativen Ausführungsform wird das Substrat durch eine darauf gerichtete Gasströmung gedreht, um wiederum eine kontaktlose Drehung zu ermöglichen.

Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art auch dadurch gelöst, dass das Substrat während der thermischen Behandlung mittels Ultraschalllevitation in der Schnellheizanlage

gehalten wird. Allein der Einsatz von Ultraschalllevitation ermöglicht eine kontaktlose Halterung, wodurch die durch Kontaktlagerung entstehenden Probleme vermieden werden.

- 5 Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Abstand zwischen einer ersten Ultraschallelektrode und dem Substrat während der thermischen Behandlung verändert, um eine Wärmekopplung zwischen der Ultraschallelektrode und dem Substrat während der thermischen Behandlung gemäß vorgegebener Prozessparameter zu verändern.

10

Vorzugsweise lassen sich die zuvor genannten Verfahren und unterschiedlichen Ausführungsbeispiele frei miteinander kombinieren, um eine gewünschte Konfiguration zu erhalten.

- 15 Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird bei einer Vorrichtung zum thermischen Behandeln von scheibenförmigen Substraten, insbesondere Halbleiterwafern, in einer Schnellheizanlage mit wenigstens einer vom Substrat beabstandeten ersten Strahlungsquelle zum Erwärmen wenigstens eines Substrats dadurch gelöst, dass wenigstens eine erste Ultraschallelektrode
- 20 zum kontaktlosen Halten des Substrats in der Schnellheizanlage vorgesehen ist. Das Vorsehen einer Ultraschallelektrode ermöglicht das kontaktlose Halten von Substraten in einer Schnellheizanlage und verhindert somit die mit Kontaktelementen in Beziehung stehenden Probleme.

- 25 Vorzugsweise weist die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine der Form und Größe des Substrats entsprechende flache Abstrahlfläche auf, um das Substrat flächig zu halten. Darüber hinaus werden lokale Temperaturinhomogenitäten im Substrat verhindert, da sich die Ultraschallelektrode über das ganze Substrat hinweg erstreckt.

30

Um ein möglichst nahes, kontaktloses Halten des Substrats zu ermöglichen, ist vorzugsweise eine Ansteuerungsvorrichtung zum Betreiben der ersten Ultraschallelektrode im Nahfeld vorgesehen. Wenn die erste Ultraschallelektrode

im Nahfeld betrieben wird, kann der Abstand zwischen Substrat und Ultraschallelektrode so gering eingestellt werden, dass bei gängigen atmosphärischen Anlagen oder Anlagen im sub-atmosphärischen Bereich eine Wärmeleitung dazwischen möglich ist, ohne einen tatsächlichen Kontakt herzustellen.

5 Eine derartige Wärmeleitung kann insbesondere während einer Abkühlphase und/oder einer Aufheizphase die oben unter Bezugnahme auf das Verfahren genannten Vorteile bieten. Hierbei bildet die erste Ultraschallelektrode vorzugsweise eine Heiz/Kühlplatte oder sie steht mit einer Heiz/Kühlplatte in thermische leitendem Kontakt, wobei die Heiz/Kühlplatte eine wesentlich größere thermischen Masse besitzt als das Substrat. Hierdurch lässt sich in vor-
10 teilhafter Weise das Aufheiz/Abkühlprofil des Substrats während einer thermischen Behandlung beeinflussen. Vorzugsweise ist die erste Ultraschallelektrode eine Beschichtung auf der Heiz/Kühlplatte.

15 Bei einer Ausführungsform der Erfindung weist die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine zur flachen Abstrahlfläche geneigte Abstrahlteilfläche auf, die eine seitliche Positionierung des Substrats ermöglicht.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens eine zweite
20 Ultraschallelektrode, die zur ersten Ultraschallelektrode abgewinkelt und/oder bewegbar ist, vorgesehen. Die abgewinkelte Ultraschallelektrode ermöglicht eine seitliche Positionierung, und durch Vorsehen einer bewegbaren Ultraschallelektrode lässt sich der Abstand zwischen Substrat und erster Ultraschallelektrode auf einfache Weise einstellen, um die Wärmekopplung dazwi-
25 schen zu verändern.

Vorzugsweise weist die zweite Ultraschallelektrode eine Ringform auf, während bei einer alternativen Ausführungsform wenigstens drei auf einer Kreislinie angeordnete zweite Ultraschallelektroden vorgesehen sind. Beide Ausführungsformen ermöglichen auf einfache und kostengünstige Weise eine Zentrierung des Substrats. Bei der Ausführungsform mit wenigstens drei auf einer Kreislinie angeordneten zweiten Ultraschallelektroden sind diese vorzugsweise radial bezüglich einem Mittelpunkt der Kreislinie und/oder vertikal beweg-
30

bar, um hierdurch eine Höhenveränderung des Substrats innerhalb einer Prozesskammer zu ermöglichen.

Vorteilhafterweise ist wenigstens eine Ultraschallelektrode an einem das Substrat radial umgebenden Kompensationsring angeordnet, um während der thermischen Behandlung eine Temperaturkompensation in den Randbereichen des Substrats vorzusehen. Dabei ist die Ultraschallelektrode vorzugsweise bezüglich einer Ebene des Kompensationsrings geneigt, um eine Zentrierung des Substrats bezüglich des Kompensationsrings zu erreichen.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist eine Einrichtung zum Steuern der Temperatur der Heiz/Kühlplatte vorgesehen, um über die Heiz/Kühlplatte zusätzlich zu den Strahlungsquellen eine Erwärmung/Kühlung des Substrats in gewünschter Weise zu erreichen.

Vorzugsweise ist die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle im Wesentlichen transparent, um das Strahlungsfeld der Strahlungsquelle und die damit verbundene Dynamik nicht zu beeinträchtigen. Dabei ist die Heiz/Kühlplatte jedoch vorzugsweise für vom Substrat stammende Wärmestrahlung im Wesentlichen opak, um diese insbesondere während einer Abkühlphase aufzunehmen und eine rasche Abkühlung des Substrats zu ermöglichen.

Für eine Steuerung der Temperatur der Heiz/Kühlplatte ist bei einer Ausführungsform der Erfindung wenigstens eine zweite Strahlungsquelle auf der vom Substrat abgewandten Seite der Heiz/Kühlplatte vorgesehen, wobei die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der zweiten Strahlungsquelle im Wesentlichen opak ist. Dabei weist die zweite Strahlungsquelle vorzugsweise eine unterschiedliche Wellenlänge zur ersten Strahlungsquelle auf, so dass die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der ersten Strahlungsquelle im Wesentlichen transparent sein kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Heiz/Kühlplatte wenigstens einen Hohlraum zum Einleiten eines Heiz/Kühlfluids auf. Dabei ist ferner vorzugsweise eine Steuereinrichtung zum selektiven Einleiten unterschiedlicher Heiz/Kühlfluide vorgesehen, wobei wenigstens ein Kühlfluid für
5 die von einer der Strahlungsquellen stammenden Strahlung transparent ist, während ein zweites Heiz/Kühlfluid für von einer der Strahlungsquellen stammende Strahlung opaque ist.

Vorzugsweise weist die Vorrichtung eine Einrichtung zum Erzeugen eines
10 Drehimpulses für das Substrat auf, um dieses während der thermischen Behandlung zu drehen. Dabei weist die Einrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung eine Ansteuervorrichtung zum Erzeugen eines rotierenden Schallfeldes auf und/oder eine Vorrichtung zum Drehen der Heiz/Kühlplatte oder wenigstens einer Ultraschallelektrode, um einen vorgegebenen Dreh-
15 punkt, und/oder wenigstens einer auf das Substrat gerichteten Gasdüse.

Die vorliegende Erfindung ist insbesondere für eine thermische Behandlung von Halbleiterwafern geeignet, bei der Strahlungsquellen zum Erwärmen des Halbleiterwafers auf beiden Seiten des Halbleiterwafers angeordnet sind. Es
20 ist jedoch auch möglich, die Prinzipien der vorliegenden Erfindung bei einer Schnellheisanlage zu verwenden, bei der eine Erwärmung des Substrats über nur auf einer Seite angeordnete Strahlungsquellen erfolgt, oder bei einem System, bei dem das Substrat über vertikale Verschiebung in einem Ofen mit unterschiedlichen Temperaturen an unterschiedlichen Höhen behandelt wird.

25

Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert; in den Zeichnungen zeigt:

30 Fig. 1 eine schematische Schnittansicht durch eine Schnellheisanlage gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2a und 2b schematische Schnittansichten einer erfindungsgemäßen Ultraschallelektrodenanordnung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung in unterschiedlichen Arbeitspositionen;

Fig. 3a und 3b schematische Seitenansichten einer alternativen Ultraschallelektrodenanordnung der vorliegenden Erfindung in unterschiedlichen Arbeitspositionen;

Fig. 4a und 4b schematische Schnittansichten einer weiteren Ausführungsform von Ultraschallelektroden gemäß der Erfindung in unterschiedlichen Arbeitspositionen;

Fig. 5 eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschallelektrodenanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 6 eine schematische Seitenansicht einer alternativen Ultraschallelektrodenanordnung gemäß der Erfindung;

Fig. 7 eine schematische Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage mit einer Ultraschallelektrode gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 8 eine vergrößerte Schnittdarstellung der Ultraschallelektrode gemäß Fig. 7;

Fig. 9 eine alternative Ausführungsform einer Ultraschallelektrode;

Fig. 10 eine Draufsicht auf einen Temperatur-Kompensationsring mit daran angebrachten Ultraschallelektroden gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 11a und 11b Schnittansichten von Ultraschallelektrodenanordnungen mit einem Kompensationsring in unterschiedlichen Arbeitspositionen;

Fig. 12 eine Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage mit einer Ultraschallelektrode gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 13 eine vergrößerte Darstellung einer Ultraschallelektrode gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

30

Fig. 1 zeigt eine Schnittansicht durch eine Schnellheizanlage 1, die ein Außengehäuse 3 aufweist. Innerhalb des Gehäuses 3 sind obere und untere Lampenbänke 4 bzw. 5 vorgesehen, die beispielsweise durch stabförmige

Lampen 6, die sich in die Blattebene hinein erstrecken, gebildet werden. Unterhalb der oberen Lampenbank 4 ist eine für die Strahlung der Lampen 6 durchlässige Wand 7, die beispielsweise aus Quarzglas besteht, vorgesehen. Oberhalb der unteren Lampenbank 5 ist eine entsprechende, transparente
5 Wand 8 vorgesehen. Die Wände 7, 8 bilden dazwischen gemeinsam mit entsprechenden Seitenwänden des Gehäuses 3 eine Prozesskammer 10.

Innerhalb der Prozesskammer 10 ist eine Ultraschallelektrodenanordnung 13 vorgesehen, zum kontaktlosen Tragen eines Halbleiterwafers 14 innerhalb der
10 Prozesskammer 10.

Die Ultraschallelektrodenanordnung 13 besitzt eine erste, flache Elektrode 16, die eine dem Substrat 14 entsprechende Umfangsform, wie beispielsweise eine Kreisform, besitzt. Die Elektrode 16 ist in ihren Umfangsabmessungen
15 etwas größer als das Substrat selbst. Die Elektrode 16 besteht aus einem für die Strahlung der Lampen 6 der unteren Lampenbank 5 im Wesentlichen transparenten Material, so dass während einer thermischen Behandlung der Halbleiterwafer 14 im Wesentlichen direkt durch die Lampen 6 der unteren Lampenbank 5 erhitzt werden kann.

20

Die Elektrode 16 besitzt, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 5 noch näher erläutert wird, Ausnehmungen zur Aufnahme von zweiten Elektroden 18, die bezüglich der ersten Elektrode 16 schräg gestellt sind. Der zwischen der Elektrode 16 und den Elektroden 18 gebildete Winkel liegt vorzugsweise
25 zwischen 0,5 bis 10°, obwohl in Fig. 1 zur besseren Darstellung ein größerer Winkel dargestellt ist. Die Elektroden 18 sind wiederum aus einem für die Strahlung der Lampen 6 der unteren Lampenbank 5 im Wesentlichen transparenten Material, um eine Beheizung des Wafers 14 über die Lampen 6 der unteren Lampenbank 5 nicht zu beeinträchtigen. Gemäß der derzeit bevorzug-
30 ten Ausführungsform der Erfindung sind wenigstens drei Ultraschallelektroden 18 vorgesehen, obwohl auch eine andere Anzahl denkbar wäre.

Die zweiten Elektroden 18 sind bezüglich der ersten Elektrode 16 über eine nicht näher dargestellte Vorrichtung in Vertikalrichtung bewegbar, wie in den Figuren 2a und 2b dargestellt ist.

- 5 Die erste Elektrode 16 und die zweiten Elektroden 18 sind jeweils mit nicht näher dargestellten Ansteuervorrichtungen verbunden, wobei sie auch mit einer gemeinsamen Ansteuervorrichtung verbunden sein können. Die Ansteuervorrichtung(en) können die Ultraschallelektroden im Nahfeld und/oder Fernfeld betreiben.

10

- Die Ultraschallelektrode 16 kann an einem für die Strahlung der Lampen 6 transparenten Heiz/Kühlkörper angebracht und in Wärmekontakt mit diesem stehen, oder kann selbst als Heiz/Kühlkörper ausgebildet sein. Dabei besitzen die Ultraschallelektrode 16 und/oder der Heiz/Kühlkörper eine wesentlich größere thermische Masse als der Wafer 14. Hierzu können Mittel zur aktiven Erwärmung und/oder Kühlung der Ultraschallelektrode 16 oder des damit in leitendem Kontakt stehenden Heiz/Kühlkörpers vorgesehen sein. Beispielsweise kann in der Ultraschallelektrode 16 und/oder dem Heiz/Kühlkörper ein Fluidraum oder eine -leitung zum Hindurchleiten eines Heiz- und/oder Kühlfluids vorgesehen sein. Insbesondere ist es möglich, während unterschiedlicher Behandlungsschritte unterschiedliche Fluide durch die Elektrode 16 oder den Heiz/Kühlkörper hindurchzuleiten oder darin zu halten. Über das Fluid wäre es auch möglich, die Transmissivität der Elektrode bzw. des Heiz/Kühlkörpers zu verändern. So könnte beispielsweise zu bestimmten Abschnitten der Waferbehandlung ein für die Lampenstrahlung im Wesentlichen undurchsichtiges Fluid vorgesehen werden, so dass das Fluid die Strahlung absorbiert, dadurch erwärmt wird und die Wärme an die Elektrode 16 bzw. den Heiz/Kühlkörper abgibt. Eine Erwärmung eines darüber angeordneten Wafers 14 könnte dann über den Heiz/Kühlkörper erfolgen. In gleicher Weise könnte das Fluid während einer Abkühlung des Wafers 14 auch von ihm ausgehende Wärmestrahlung absorbieren.
- 15
- 20
- 25
- 30

Der Betrieb der Schnellheizanlage 1 wird nachfolgend anhand des in den Figuren 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Ein Halbleiterwafer 14 wird über eine nicht näher dargestellte Handhabungsvorrichtung in die Prozesskammer 10 transportiert, während sich die Ultraschallelektrodenanordnung in der in Fig. 2b gezeigten Position befindet. Die Ultraschallelektroden 18 werden durch ihre Ansteuervorrichtung angesteuert, so dass sie den Wafer 14, der durch die Handhabungsvorrichtung in den Bereich der Ultraschallelektroden 18 transportiert wurde, tragen. Dabei werden die Ultraschallelektroden 18 derart betrieben, dass sie den Wafer 14 im Fernfeld tragen. Durch die Schrägstellung der Ultraschallelektroden 18 ergibt sich eine Zentrierung des Wafers 14 bezüglich der Ultraschallelektroden 16 und 18. Die Handhabungsvorrichtung wird aus der Prozesskammer 10 herausbewegt und die Prozesskammer 10 wird geschlossen. Anschließend kann die Prozesskammer 10 mit einem geeigneten Prozessgas gefüllt werden, sofern dies notwendig ist. Nun werden die Ultraschallelektroden 18 in die in Fig. 2a gezeigte Position vertikal nach unten bewegt und die Ultraschallelektrode 16 wird derart angesteuert, dass sie den Wafer 14 kontaktlos im Nahfeld trägt.

Die Ultraschallelektrode 16 bzw. ein damit in Kontakt stehender Heiz/Kühlkörper (nachfolgend wird nur von der Ultraschallelektrode 16 gesprochen) wurde vorab auf eine erhöhte Temperatur von beispielsweise 650 °C gebracht. Diese Erwärmung ist auf unterschiedliche Weisen möglich, beispielsweise über eine Widerstandsheizung, oder durch Wärmeabsorption von Lampenstrahlung, beispielsweise wenn die Ultraschallelektrode 16 mit einem für die Strahlung der Lampen undurchsichtigen Fluid gefüllt ist.

Während der Wafer 14 durch die Ultraschallelektrode 16 im Nahfeld gehalten wird, beträgt der Abstand zwischen dem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode zwischen 50 µm und 1 mm, vorzugsweise zwischen 150 und 500 µm. Daher ist im Wesentlichen eine Wärmeleitung zwischen diesen beiden Elementen möglich. Da die Ultraschallelektrode 16 eine wesentliche größere thermische Masse besitzt als der Wafer 14, wird er rasch in die Nähe bzw. auf die

Temperatur der Ultraschallelektrode 16 erhitzt. Gleichzeitig können die obere und untere Lampenbank 4, 5 aktiviert werden, um den Wafer zusätzlich mittels Lampenstrahlung zu erwärmen, obwohl Wafer in der Regel unter Temperaturen von ca. 600° C (abhängig von der jeweiligen Konfiguration des Wafers) für die Lampenstrahlung größtenteils transparent sind. Die Ultraschallelektrode 16 dient somit während einer Anfangsphase einer thermischen Behandlung als Heizkörper für den Wafer 14 und heizt diesen sowohl über von der Ultraschallelektrode 16 ausgehende Wärmestrahlung als auch über thermische Leitung auf. Dies ist möglich, da beim Betreiben der Ultraschallelektrode 16 im Nahfeld ein ausreichend kleiner Spalt zwischen dem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 16 gebildet wird, so dass eine Wärmeleitung möglich ist.

Während der Wafer 14 im Nahfeld über der Ultraschallelektrode 16 gehalten wird, bildet sich in dem schmalen Spalt zwischen Wafer und Elektrode in vorteilhafter Weise eine statische Luftsäule. Diese verändert die in der Prozesskammer befindliche Prozessatmosphäre nicht, und bewirkt darüber hinaus auch keine Gasströmungen, welche Temperaturinhomogenitäten am Wafer 14 erzeugen könnten.

20

Während dieser anfänglichen Aufheizphase können die Ultraschallelektroden 18 abgeschaltet sein, oder sie können weiter, beispielsweise im Nahfeld, betrieben werden, um weiterhin eine Zentrierung des Wafers vorzusehen.

25 Wenn der Wafer 14 eine bestimmte Zieltemperatur, beispielsweise 600° C erreicht hat, werden die Ultraschallelektroden 18 wiederum vertikal in die in Fig. 2b gezeigte Position bewegt, so dass der Wafer 14 von der Ultraschallelektrode 16 beabstandet ist und im Wesentlichen nur durch die Ultraschallelektroden 18 getragen wird. Natürlich wäre es auch denkbar, die Ultraschallelektrode 16 im Fernfeld anzusteuern, so dass der Wafer 14 zusätzlich durch die Ultraschallelektrode 16 getragen wird und die Elektroden 18 ausschließlich eine Zentrierung des Wafers vorsehen. Der Abstand zwischen dem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 16 ist nun so groß, dass eine Wärmeleitung

dazwischen nicht mehr signifikant ist. Eine weitere Aufheizung des Wafers 14 erfolgt nun ausschließlich durch die obere und/oder untere Lampenbank 4, 5, wobei spätestens zu diesem Zeitpunkt die Ultraschallelektrode 16 mit einem für die Strahlung der unteren Lampenbank 5 durchsichtigen Fluid gefüllt sein sollte, sofern ein entsprechender Fluidraum vorgesehen ist.

Mittels der Lampenstrahlung wird der Wafer 14 nunmehr rasch auf seine Zieltemperatur erhitzt, die beispielsweise über 1000°C liegen kann. Aufgrund der Dynamik der Lampen ist dabei ein sehr rasches Erhitzen möglich und das Erhitzen kann an ein gewünschtes Heizprofil angepasst werden. Wenn der Wafer 14 abgekühlt werden soll, entweder direkt nach Erreichen einer Zieltemperatur oder nachdem der Wafer für eine vorgegebene Zeit auf der Zieltemperatur gehalten wurde, werden die Ultraschallelektroden 18 wieder in die in Fig. 2a gezeigte Position gebracht und die Ultraschallelektrode 16 wird derart angesteuert, dass der Wafer 14 im Nahfeld über der Ultraschallelektrode 16 gehalten wird. Zu diesem Zeitpunkt besitzt der Wafer 14 eine wesentlich höhere Temperatur - beispielsweise 1100°C - als die Ultraschallelektrode - beispielsweise 650°C -, so dass die Ultraschallelektrode 16 nunmehr als Kühlkörper fungiert. Aufgrund des geringen Abstands zwischen Wafer 14 und Ultraschallelektrode 16 im Nahfeld kommt es wieder zu einer Wärmeleitung zwischen dem Wafer 14 und Ultraschallelektrode 16. Dies ermöglicht eine rasche Abkühlung des Wafers 14 nicht nur über vom Wafer 14 ausgehende Wärmestrahlung sondern auch über direkte Wärmeleitung in die Ultraschallelektrode 16. Durch Einstellen der Entfernung zwischen Wafer 14 und Ultraschallelektrode 16 läßt sich dabei das Abkühlprofil in gewünschter Weise steuern. Wenn die Temperatur des Wafers 14 sich der Temperatur der Ultraschallelektrode 16 annähert bzw. diese erreicht, werden die Ultraschallelektroden 18 wiederum in die in Fig. 2b gezeigte Position bewegt, um den Wafer 14 von der Ultraschallelektrode 16 zu beabstanden, was eine Abkühlung des Wafers unter die Temperatur der Ultraschallelektrode 16 ermöglicht. Natürlich ist es auch möglich, die Temperatur der Ultraschallelektrode 16 beispielsweise durch Hindurchleiten eines Kühlfluids weiter abzusenken, um die Kühlung des Wafers 14 zu fördern.

Die Ultraschallelektrode 16 kann somit während unterschiedlicher Phasen einer thermischen Behandlung als Heiz- oder als Kühlelement eingesetzt werden, selbst wenn die Temperatur der Ultraschallelektrode 16 während der gesamten thermischen Behandlung konstant gehalten wird. Wenn die Ultraschallelektrode 16 vom Wafer 14 beabstandet ist, wie in Fig. 2b gezeigt ist, ist ein Wärmeaustausch dazwischen vernehmlich über Strahlung möglich, dessen Einfluss relativ gering ist.

- 10 Nachdem der Wafer 14 wiederum eine untere Zieltemperatur erreicht hat, wird er über eine entsprechende Handhabungsvorrichtung aus der Prozesskammer 10 entnommen.

Die Verwendung der erfindungsgemäßen Ultraschallelektrodenanordnung ermöglicht somit ein kontaktloses Halten eines Wafers innerhalb einer Prozesskammer 10 sowie das Herstellen einer Wärmeleitung zwischen dem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 16 während unterschiedlicher Behandlungszyklen. Durch die Verwendung der Ultraschallelektrodenanordnung werden keine Fremdkörper in die Prozesskammer 10 eingebracht, so dass die Prozessatmosphäre während der gesamten thermischen Behandlung durch die Ultraschallelektrodenanordnung 13 nicht beeinflusst wird.

Die Figuren 3a und 3b zeigen eine alternative Ultraschallelektrodenanordnung 13, wobei in den Figuren 3a und 3b dieselben Bezugszeichen verwendet werden wie in Fig. 2, sofern dieselben oder äquivalente Elemente bezeichnet sind. Die Ultraschallelektrodenanordnung gemäß den Figuren 3a und 3b weist wiederum eine erste Ultraschallelektrode 16 auf, die im Wesentlichen eine an einem zu behandelnden Halbleiterwafer 14 entsprechende Umfangsform besitzt. Wiederum sind zweite Ultraschallelektroden 18 (vorzugsweise drei) vorgesehen, die bezüglich der ersten Ultraschallelektrode 16 abgewinkelt sind. Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel besitzt die erste Ultraschallelektrode 16 jedoch keine Ausnehmungen, in die sich die zweiten Ultraschallelektroden 18 hinein bewegen können. Ferner sind die zweiten Ultraschall-

elektroden 18 auch nicht in Vertikalrichtung bewegbar, sondern seitlich bewegbar. Dabei liegen die zweiten Ultraschallelektroden 18 auf einer gemeinsamen Kreislinie und sie sind nach außen bezüglich eines Mittelpunktes der gemeinsamen Kreislinie bewegbar, und zwar zwischen den in Fig. 3a und Fig. 3b gezeigten Positionen.

In der in Fig. 3a gezeigten Position wird der Halbleiterwafer 14 im Wesentlichen durch die zweiten Ultraschallelektroden 18 gehalten und zu ihnen zentriert. Wenn sich die zweiten Ultraschallelektroden 18 in der in Fig. 3b gezeigten Position befinden, wird der Halbleiterwafer 14 ausschließlich über die zweite Ultraschallelektrode 16 gehalten. Über die seitliche Bewegung der Ultraschallelektroden 18 läßt sich somit der Abstand zwischen dem Wafer 14 und der ersten Ultraschallelektrode 16 verändern, wobei es zu jedem Zeitpunkt möglich ist, auch durch die ersten Ultraschallelektrode 16 eine Haltekraft auf den Wafer 14 auszuüben, wenn die erste Ultraschallelektrode 16 im Fernfeld betrieben wird.

Die Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß den Figuren 3a und 3b wird im Wesentlichen in derselben Art und Weise verwendet wie die Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß den Figuren 1 und 2, wobei eine Abstandseinstellung zwischen dem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 16 jedoch wenigstens teilweise über eine seitliche Bewegung der Ultraschallelektroden 18 erfolgt. Durch die fehlenden Ausnehmungen in der Ultraschallelektrode 16 wird eine homogenere Aufheizung und/oder Abkühlung des Wafers 14 ermöglicht.

Die Figuren 4a und 4b zeigen eine weitere Ausführungsform einer Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei wiederum dieselben Bezugszeichen wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel verwendet werden, sofern dieselben oder äquivalente Elemente vorgesehen sind.

Die Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß den Figuren 4a und 4b weist wiederum eine erste Ultraschallelektrode 16 mit einer dem Wafer 14 entsprechenden Umfangsform auf. In der ersten Ultraschallelektrode 16 sind Aus-

nehmungen zur Aufnahme einer Vielzahl von zweiten Ultraschallelektroden 18 - vorzugsweise wenigstens drei - vorgesehen. Beispielsweise könnten die Ultraschallelektroden 16 und 18 wie in der Draufsicht in Fig. 5 dargestellt ist, angeordnet sein.

5

Die zweiten Ultraschallelektroden 18 sind schwenkbar an der ersten Ultraschallelektrode 16 angebracht und können über eine geeignete Steuereinrichtung verschwenkt werden. In den Figuren 4a und 4b sind zwei unterschiedliche Positionen der zweiten Ultraschallelektroden 18 bezüglich der ersten Ultraschallelektrode 16 dargestellt. Durch eine Winkelveränderung läßt sich der Abstand zwischen dem Wafer 14 und der ersten Ultraschallelektrode 16 verändern. Obwohl dies in den Figuren 4a und 4b nicht dargestellt ist, lassen sich die Ultraschallelektroden 18 so weit verschwenken, dass sie mit der ersten Ultraschallelektrode 16 eine im Wesentlichen flache Ebene bilden.

15

Die Ultraschallelektrodenanordnung gemäß den Figuren 4a und 4b wird im Wesentlichen in derselben Art und Weise eingesetzt, wie die Ultraschallelektrodenanordnung gemäß den Figuren 1 und 2, wobei eine Abstandseinstellung der ersten Elektrode 16 zum Wafer 14 wenigstens teilweise über ein Verschwenken der zweiten Ultraschallelektroden 18 erfolgen kann.

20

Fig. 5 zeigt eine Draufsicht auf eine Ultraschallelektrodenanordnung gemäß den Figuren 1 und 2 oder Fig. 4. In der Draufsicht ist eine Ultraschallelektrode 16 zu erkennen, die Ausnehmungen zur Aufnahme von drei zweiten Ultraschallelektroden 18 aufweist. Die Ultraschallelektroden können wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1 und 2 vertikal in die Ausnehmungen und aus ihnen heraus bewegbar sein, oder wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 schwenkbar innerhalb der Ausnehmungen angebracht sein. In der Draufsicht gemäß Fig. 5 ist ferner mit einer gestrichelten Linie ein Wafer 14 angedeutet.

30

Fig. 6 zeigt eine weitere, alternative Form einer Ultraschallelektrodenanordnung 13, wobei in Fig. 6 wiederum dieselben Bezugszeichen wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen verwendet werden.

- 5 Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 ist eine erste Ultraschallelektrode 16 mit einer der Umfangsform des Wafers 14 entsprechenden Umfangsform vorgesehen. Ferner ist wenigstens eine zweite bezüglich der ersten Ultraschallelektrode 16 abgewinkelte Ultraschallelektrode 18 vorgesehen. Diese zweite Ultraschallelektrode 18 kann eine durchgehende Ringform aufweisen
10 oder es können mehrere, vorzugsweise wenigstens drei, auf einem Umfangskreis angeordnete Ultraschallelektroden 18 vorgesehen sein. Die Ultraschallelektroden 18 weisen mit ihrer Abstrahlfläche in Richtung der ersten Ultraschallelektrode 16 und sind oberhalb der ersten Ultraschallelektrode 16 angeordnet. Die Ultraschallelektroden 18 sind vertikal oder seitlich bewegbar, um
15 die Aufnahme eines Halbleiterwafers 14 zwischen den Ultraschallelektroden 18 zu ermöglichen. Der Halbleiterwafer 14 kann entweder durch die Ultraschallelektrode 16 oder alternativ auch durch die Ultraschallelektroden 18 gehalten werden, wobei der Wafer in diesem Fall im Wesentlichen an den Ultraschallelektroden 18 mittels Ultraschall aufgehängt wird. Dies ist jedoch nur
20 dann möglich, wenn die Ultraschallelektroden 18 im sogenannten Fernfeld betrieben werden.

Eine Abstandseinstellung zwischen Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 16 kann entweder durch eine Bewegung der Ultraschallelektroden 16 oder 18
25 oder durch entsprechende Ansteuerung der ersten Ultraschallelektrode 16 (Umschaltung zwischen Fernfeld und Nahfeld) oder der Ultraschallelektroden 18 erfolgen.

Die Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß Fig. 6 wird in der gleichen
30 Weise eingesetzt, wie die Ultraschallelektrodenanordnung 13 gemäß Fig. 1.

Fig. 7 zeigt wiederum eine Schnittdarstellung einer Schnellheizanlage 1 mit einem Gehäuse 3 und oberen und unteren Lampenbänken 4, 5. Wiederum

werden. Die Ultraschallelektrode 20 besitzt wiederum eine Ebene, der Umfangsform des Wafers 14 entsprechende Ultraschall-Abstrahlfläche 21. Radial an diese Ultraschall-Abstrahlfläche schließt sich eine nach oben gebogene Ultraschall-Abstrahlfläche 22 an, die bei entsprechender Ansteuerung eine
5 Zentrierung des Wafers 14 bezüglich der Ultraschallelektrode 20 bewirkt.

Die Figuren 10 und 11 zeigen eine alternative Ultraschallelektrodenanordnung 25. Die Ultraschallelektrodenanordnung 25 weist eine erste Ultraschallelektrode 26 mit einer der Umfangsform eines Wafers 14 entsprechende Umfangs-
10 form auf. In der Ultraschallelektrode 26 sind vier Ausnehmungen 27 vorgesehen, die umfangsmäßig gleichmäßig verteilt sind. Die Funktion der Ausnehmungen 27 wird nachfolgend noch näher erläutert.

Ferner weist die Ultraschallelektrodenanordnung 25 vier zweite Ultraschallelektroden 29 auf, die eine bezüglich der ersten Ultraschallelektrode 26 geneigte Abstrahlfläche aufweisen. Die vier zweiten Ultraschallelektroden 29 sind am Innenumfang eines Temperatur-Kompensationsrings 30 angebracht. Der Temperatur-Kompensationsring 30 mit den Ultraschallelektroden 29 ist
15 vertikal bewegbar, obwohl es natürlich auch möglich wäre, den Temperatur-Kompensationsring 30 stationär auszubilden und die Ultraschallelektrode 26
20 vertikal bewegbar auszubilden.

Die zweiten Ultraschallelektroden 29 sind mit den Ausnehmungen 27 der ersten Ultraschallelektrode 26 ausgerichtet, und können, wie in Fig. 11b gezeigt
25 ist, in die Ausnehmungen 27 hinein bewegt werden.

Hierdurch ist es möglich, den Abstand zwischen einem Wafer 14 und der Ultraschallelektrode 26 einzustellen.

30 Die Ultraschallelektrodenanordnung 25 wird im Wesentlichen in derselben Art und Weise verwendet, wie die Ultraschallelektrodenanordnung gemäß Fig. 1.

sind obere und untere Quarzfenster 7, 8 zur Bildung einer Prozesskammer 10 vorgesehen. Statt einer Ultraschallelektrodenanordnung 13, die aus wenigstens zwei separaten Ultraschallelektroden besteht, ist gemäß Fig. 7 jedoch nur eine einzelne Ultraschallelektrode 20 zum Halten eines Wafers 14 in der Prozesskammer 10 vorgesehen. Die Ultraschallelektrode 20, die vergrößert in Fig. 8 dargestellt ist, besitzt eine erste, nach oben weisende Ultraschall-Abstrahlfläche 21, die eine dem Wafer 14 entsprechende Umfangsform besitzt. Radial nach außen schließt sich an diese ebene Abstrahlfläche 20 eine hierzu abgewinkelte zweite Ultraschall-Abstrahlfläche 22 an. Der Winkel zwischen der ebenen Abstrahlfläche 21 und der gewinkelten Abstrahlfläche 22 liegt vorzugsweise zwischen 0,5 und 10°, obwohl in Fig. 8 ein größerer Winkel dargestellt ist. Die Ultraschall-Abstrahlflächen 21, 22 könne über eine geeignete Ansteuereinheit entweder gemeinsam oder auch separat angesteuert werden. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Ausführungsbeispielen sind die ebene Ultraschall-Abstrahlfläche 21 und die hierzu abgewinkelte Ultraschall-Abstrahlfläche 22 während des ganzen Betriebs der Vorrichtung stationär zueinander. Eine Abstandsveränderung zwischen dem Wafer 14 und der ebenen Ultraschall-Abstrahlfläche 21 erfolgt ausschließlich über eine entsprechende Ansteuerung der jeweiligen Ultraschall-Abstrahlflächen und einer entsprechenden Umschaltungen zwischen einem Fernfeld- und Nahfeldbetrieb.

Die Ultraschallelektrode 20 ist wiederum als Heiz/Kühlkörper ausgebildet oder steht mit einem solchen in thermisch leitendem Kontakt. Wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel können geeignete Mittel zum Heizen/Kühlen der Ultraschallelektrode 20 vorgesehen sein.

Die Ultraschallelektrode 20 wird im Wesentlichen in derselben Art und Weise verwendet, wie die zuvor genannten Ultraschallelektroden, wobei eine Abstandseinstellung zwischen Wafer 14 und Ultraschallelektrode, wie erwähnt, über eine entsprechende Ansteuerung derselben erfolgt.

Fig. 9 zeigt eine alternative Ausführungsform einer einteiligen Ultraschallelektrode 20, wobei wiederum dieselben Bezugszeichen wie in Fig. 8 verwendet

Die Figuren 12 und 13 zeigen eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In den Figuren 12 und 13 werden dieselben Bezugszeichen wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen verwendet, sofern identische oder ähnliche Elemente gezeigt sind.

5

Fig. 12 zeigt eine schematische Schnittansicht einer Schnellheizanlage 1 mit einem Gehäuse 3 und oberen und unteren Lampenbänken 4, 5. In dem Gehäuse sind obere und untere Quarzfenster 7, 8 vorgesehen, die wie beim ersten Ausführungsbeispiel eine Prozesskammer 10 bilden. Innerhalb der Prozesskammer 10 ist eine Ultraschallelektrode 40 vorgesehen, die in größerer Einzelheit in Fig. 13 dargestellt ist. Die Ultraschallelektrode 40 besteht aus einem Hauptkörper 42, der als Heiz/Kühlkörper ausgebildet ist. Auf dem Hauptkörper 42 ist eine Beschichtung 44 aufgebracht, die als eigentliche Ultraschallelektrode dient. Der Hauptkörper 42 besitzt im Wesentlichen die Form der Ultraschallelektrode 20 gemäß Fig. 8 mit einer entsprechenden Beschichtung 44 darauf. Allerdings ist es auch möglich, eine Konfiguration mit separaten Ultraschallelektroden vorzusehen.

10

15

20

Der Hauptkörper 42 sowie die Beschichtung 44 sind aus einem für die Strahlung der Lampen 6 der Lampenbänke 4, 5 transparenten Material.

25

30

Im Bereich der unteren Lampenbank 5 ist eine Vielzahl von zu den Lampen 6 der Lampenbank 5 unterschiedlichen Lampen 46 vorgesehen, die mit einer unterschiedlichen Wellenlänge strahlen. Das Material des Hauptkörpers 42 und/oder Beschichtung 44 der Ultraschallelektrode 40 ist für die Strahlung der Lampen 46 nicht transparent und kann daher über die Strahlung der Lampen 46 erhitzt werden. Die Lampen 46 sehen somit die Möglichkeit einer anfänglichen Erhitzung der Ultraschallelektrode 40 während einer Aufheizphase einer thermischen Behandlung eines Wafers 14 vor. Der Betrieb der Schnellheizanlage 1 gleicht im Wesentlichen dem Betrieb der Schnellheizanlage 1 gemäß Fig. 1, wobei eine anfängliche Erwärmung der Ultraschallelektrode 40 im Wesentlichen über die Lampen 46 erfolgt, um den Wafer 14 auf eine erste Zieltemperatur von beispielsweise 650° C zu bringen.

In den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen ist es zusätzlich möglich, Vorrichtungen zum Drehen des Wafers 14 innerhalb der Prozesskammer vorzusehen. Eine Drehung kann dabei durch eine Drehung einer oder mehrerer
5 der Ultraschallelektroden induziert werden. Ferner können die Ultraschallelektroden derart angesteuert werden, dass sie ein rotierendes Schallfeld erzeugen, um den Wafer zu drehen. Auch eine auf einer Oberfläche des Wafers 14 oder den Waferrand gerichtete Gasströmung könnte eine entsprechende Drehung bewirken. Entgegengesetzte Gasdüsen können dabei zum Be-
10 schleunigen und Abbremsen des Wafers 14 eingesetzt werden. Auch kann statt der schräg gestellten Ultraschallelektroden eine Gasströmung zur seitlichen Positionierung bzw. Zentrierung eingesetzt werden. Entsprechende Gasdüsen können beispielsweise in einem Heiz/Kühlkörper, den Elektroden oder dem Kompensationsring integriert sein oder separat vorgesehen werden.

15

Die Erfindung wurde zuvor anhand spezieller Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert, ohne auf diese speziellen Ausführungsbeispiele beschränkt zu sein. Insbesondere ist es möglich, Merkmale der unterschiedlichen Ausführungsbeispiele auszutauschen bzw. miteinander zu kombinieren, sofern sie
20 kompatibel sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum thermischen Behandeln von scheibenförmigen Substraten, insbesondere Halbleiterwafern, in einer Schnellheizanlage mit wenigstens einer vom Substrat beabstandete ersten Strahlungsquelle zum Erwärmen wenigstens eines Substrats, bei dem das Substrat in einer Heizphase erwärmt und einer darauf folgenden Kühlphase abgekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Kühlphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von einer Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen 150 und 500 μm liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat während der thermischen Behandlung mittels Ultraschallevitati-
on in der Schnellheizanlage gehalten wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte wenigstens eine erste Ultraschallelektrode aufweist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine der Form und Größe des Substrats im wesentlichen entsprechende flache Abstrahlfläche aufweist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine zur flachen Abstrahlfläche geneigte Abstrahlfläche aufweist, durch die das Substrat in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Ultraschallelektrode vorgesehen ist, die zur ersten Ultraschallelektrode abgewinkelt und/oder bewegbar ist.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch die zweite Ultraschallelektrode in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat während eines Anfangsabschnitts der Heiz/Kühlphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird und während des folgenden Abschnitts der Kühlphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten wird.
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat so lange mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird, bis es im wesentlichen die Temperatur der Heiz/Kühlplatte erreicht hat.
- 15 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte eine wesentlich größere thermische Masse besitzt als das Substrat.
- 20 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur der Heiz/Kühlplatte gesteuert wird.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle im wesentlichen transparent ist.
- 30 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erhitzen der Heiz/Kühlplatte ein für die Strahlung der Strahlungsquelle im we-

sentlichen opakes Fluid in einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte eingeleitet wird.

- 5 15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass während einer direkten Strahlungsheizung des Substrats durch die Strahlungsquelle ein für dessen Strahlung im wesentlichen Transparentes Fluid in einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte geleitet wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Kühlen der Heiz/Kühlplatte ein Fluid durch einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte hindurchgeleitet wird.
- 15 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für vom Substrat stammende Wärmestrahlung im wesentlichen Opak ist.
- 20 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Strahlungsquelle auf der dem Substrat abgewandten Seite der Heiz/Kühlplatte vorgesehen ist, wobei die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der zweiten Strahlungsquelle im wesentlichen Opak ist und die Heiz/Kühlplatte wenigstens teilweise während der thermischen Behandlung über die zweite Heizquelle erwärmt wird.
- 25 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Strahlungsquelle eine unterschiedliche Wellenlänge zur ersten Strahlungsquelle aufweist.
- 30 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Substrat während eines Anfangsabschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird und während des folgenden Abschnitts der Heizphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten wird.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat wenigstens während Teilabschnitten der thermischen Behandlung gedreht wird.
23. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat mit einem rotierenden Schallfeld gedreht wird.
24. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch Rotation der Heiz/Kühlplatte und/oder durch Rotation wenigstens einer Ultraschallelektrode gedreht wird.
25. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch eine darauf gerichtete Gasströmung gedreht wird.
26. Verfahren zum thermischen Behandeln von scheibenförmigen Substraten, insbesondere Halbleiterwafern, in einer Schnellheizanlage, bei dem wenigstens ein Substrat über eine vom Substrat beabstandete Strahlungsquelle in einer Heizphase erwärmt und einer darauf folgenden Abkühlphase abgekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat während der thermischen Behandlung mittels Ultraschallelevation in der Schnellheizanlage gehalten wird.
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen einer ersten Ultraschallelektrode und dem Substrat während der thermischen Behandlung verändert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Abkühlphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm, insbesondere zwischen 150 und 500 μm , von einer Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird.

5

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte wenigstens eine erste Ultraschallelektrode aufweist.

10 30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine der Form und Größe des Substrats im wesentlichen entsprechende flache Abstrahlfläche aufweist.

15 31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode wenigstens eine zur flachen Abstrahlfläche geneigte Abstrahlfläche aufweist, durch die das Substrat in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten wird.

20 32. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Ultraschallelektrode vorgesehen ist, die zur ersten Ultraschallelektrode abgewinkelt und/oder bewegbar ist.

25 33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch die zweite Ultraschallelektrode in einer vorgegebenen seitlichen Position gehalten wird.

30 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat während eines Anfangsabschnitts der Kühlphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird und während des folgenden Abschnitts der Kühlphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten wird.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat so lange mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird, bis es im wesentlichen die Temperatur der Heiz/Kühlplatte erreicht hat.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte eine wesentlich größere thermische Masse besitzt als das Substrat.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur der Heiz/Kühlplatte gesteuert wird.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle im wesentlichen transparent ist.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erhitzen der Heiz/Kühlplatte ein für die Strahlung der Strahlungsquelle im wesentlichen opak Fluid in einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte eingeleitet wird.

40. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass während einer direkten Strahlungsheizung des Substrats durch die Strahlungsquelle ein für dessen Strahlung im wesentlichen transparentes Fluid in einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte geleitet wird.

41. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass zum Kühlen der Heiz/Kühlplatte ein Fluid durch einen Hohlraum der Heiz/Kühlplatte hindurchgeleitet wird.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für vom Substrat stammende Wärmestrahlung im wesentlichen opak ist.
- 5 43. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Strahlungsquelle auf der dem Substrat abgewandten Seite der Heiz/Kühlplatte vorgesehen ist, wobei die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der zweiten Strahlungsquelle im wesentlichen opak ist und die Heiz/Kühlplatte wenigstens teilweise während der thermischen Behandlung über die zweite Heizquelle erwärmt wird.
- 10 44. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Strahlungsquelle eine unterschiedliche Wellenlänge zur ersten Strahlungsquelle aufweist.
- 15 45. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Substrat wenigstens während eines Abschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird.
- 20 46. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Substrat während eines Anfangsabschnitts der Heizphase mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm von der Heiz/Kühlplatte beabstandet gehalten wird und während des folgenden Abschnitts der Heizphase mit einem größeren Abstand zur Heiz/Kühlplatte gehalten wird.
- 25 47. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat wenigstens während Teilabschnitten der thermischen Behandlung gedreht wird.
- 30

48. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat mit einem rotierenden Schallfeld gedreht wird.
- 5 49. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch Rotation der Heiz/Kühlplatte und/oder durch Rotation wenigstens einer Ultraschallelektrode gedreht wird.
- 10 50. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat durch eine darauf gerichtete Gasströmung gedreht wird.
51. Vorrichtung (1) zum thermischen Behandeln von scheibenförmigen Substraten (14), insbesondere Halbleiterwafern, in einer Schnellheisanlage mit wenigstens einer vom Substrat beabstandete ersten Strahlungsquelle (6) zum Erwärmen wenigstens eines Substrats (14), gekennzeichnet durch wenigstens eine erste Ultraschallelektrode (16; 20; 26; 40) zum kontaktlosen Halten des Substrats (14) in der Schnellheisanlage.
- 15 52. Vorrichtung (1) nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode (16; 20; 26; 40) wenigstens eine der Form und Größe des Substrats entsprechende flache Abstrahlfläche aufweist.
- 20 53. Vorrichtung (1) nach Anspruch 51 oder 52, gekennzeichnet durch eine Ansteuervorrichtung zum Betreiben der ersten Ultraschallelektrode (16; 20; 26; 40) im Nahfeld, zum Halten des Substrats mit einem Abstand zwischen 50 μm und 1 mm, insbesondere zwischen 150 und 500 μm , über der Ultraschallelektrode.
- 25 54. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 53, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode (16; 20; 26; 40) eine Heiz/Kühlplatte bildet oder mit einer Heiz/Kühlplatte (42) in thermisch leitendem Kontakt steht, wobei die Heiz/Kühlplatte eine wesentlich größere thermische Masse besitzt als das Substrat (14).
- 30

55. Vorrichtung (1) nach Anspruch 54, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode eine Beschichtung (44) auf der Heiz/Kühlplatte (42) ist.
- 5 56. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 55, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ultraschallelektrode (20; 40) wenigstens eine zur flachen Abstrahlfläche geneigte Abstrahlfläche (22) aufweist.
- 10 57. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 55, gekennzeichnet durch wenigstens eine zweite Ultraschallelektrode (18; 29), die zur ersten Ultraschallelektrode abgewinkelt und/oder bewegbar ist.
58. Vorrichtung (1) nach Anspruch 57, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Ultraschallelektrode eine Ringform (18; 29) aufweist.
- 15 59. Vorrichtung (1) nach Anspruch 57, gekennzeichnet durch wenigstens drei auf einer Kreislinie angeordnete zweite Ultraschallelektroden (18; 29).
- 20 60. Vorrichtung (1) nach Anspruch 59, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Ultraschallelektroden (18) radial bezüglich einem Mittelpunkt der Kreislinie und/oder vertikal bewegbar sind.
- 25 61. Vorrichtung (1) nach Anspruch einem der Absprüche 56 bis 60, gekennzeichnet durch eine Ansteuervorrichtung zum Ansteuern der zweiten Ultraschallelektrode (18; 29) derart, dass sie ein rotierendes Schallfeld erzeugt.
- 30 62. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 61, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Ultraschallelektrode (29) an einem das Substrat radial umgebenden Kompensationsring (30) angeordnet ist.

63. Vorrichtung (1) nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet, dass die Ultraschallelektrode (29) bezüglich einer Ebene des Kompensationsrings (30) geneigt ist.
- 5 64. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 63, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Steuern der Temperatur der Heiz/Kühlplatte.
65. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 64, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der Strahlungsquelle
10 im wesentlichen Transparent ist.
66. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 65, dadurch gekennzeichnet, dass die Heiz/Kühlplatte für vom Substrat stammende Wärmestrahlung im wesentlichen Opak ist.
15
67. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 51 bis 66, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Strahlungsquelle (46) auf der dem Substrat (14) abgewandten Seite der Heiz/Kühlplatte vorgesehen ist, wobei die Heiz/Kühlplatte für die Strahlung der zweiten Strahlungsquelle
20 (46) im Wesentlichen Opak ist.
68. Vorrichtung (1) nach Anspruch 67, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Strahlungsquelle (46) eine unterschiedliche Wellenlänge zur ersten Strahlungsquelle (6) aufweist.
25
69. Vorrichtung (1) nach einem Ansprüche 51 bis 68, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Erzeugen eines Drehimpulses für das Substrat.
70. Vorrichtung (1) nach Anspruch 69, dadurch gekennzeichnet, dass die
30 Einrichtung eine Ansteuervorrichtung zum Erzeugen eines rotierenden Schallfelds aufweist.

71. Vorrichtung (1) nach Anspruch 69, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zum Drehen der Heiz/Kühlplatte und/oder wenigstens einer Ultraschallelektrode um einen vorgegebenen Drehpunkt aufweist.
- 5 72. Vorrichtung (1) nach Anspruch 69, gekennzeichnet durch wenigstens eine auf das Substrat gerichtete Gasdüse.
- 10 73. Vorrichtung (1) nach Anspruch 72, dadurch gekennzeichnet, dass die auf das Substrat gerichtete Gasdüse in der Heiz/Kühlplatte, einer Ultraschallelektrode und/oder einem das Substrat umgebenden Kompensationsring angeordnet ist.

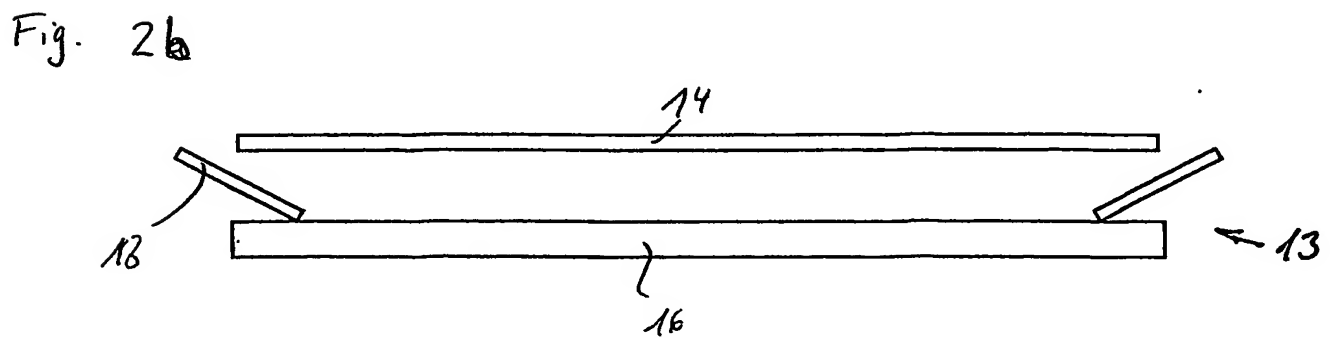
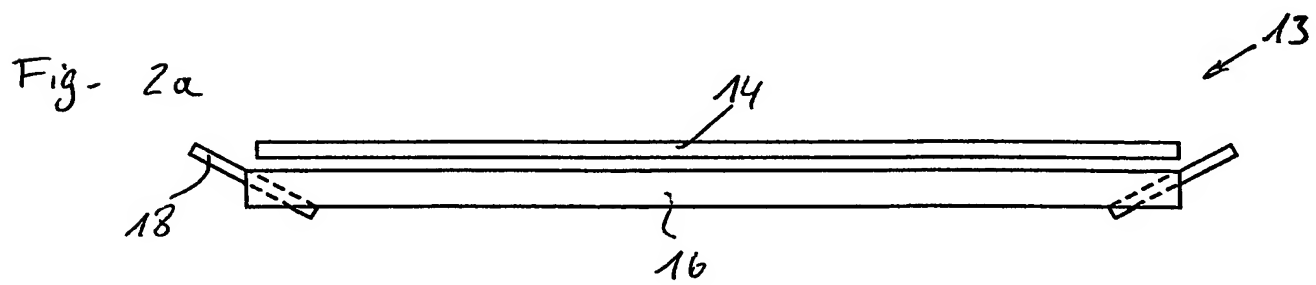
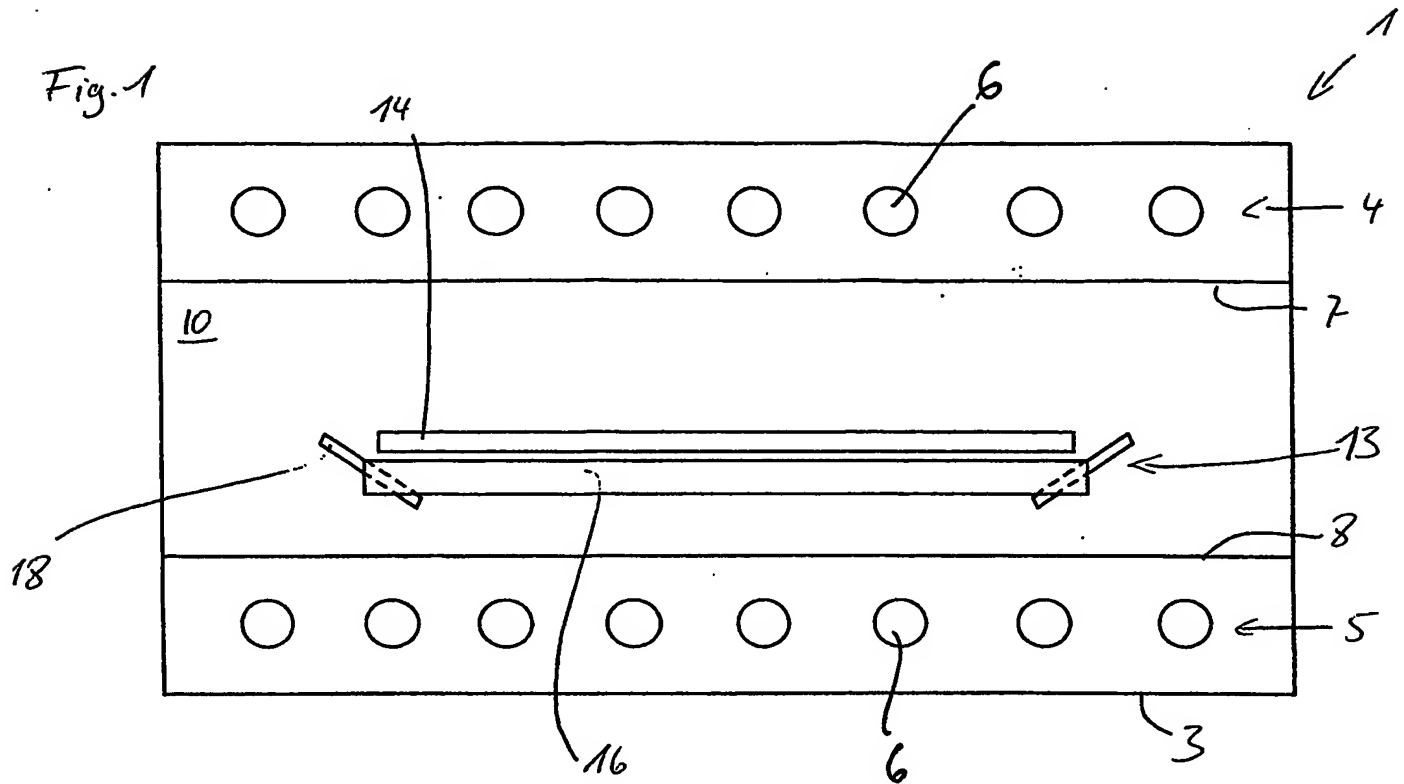


Fig. 3a

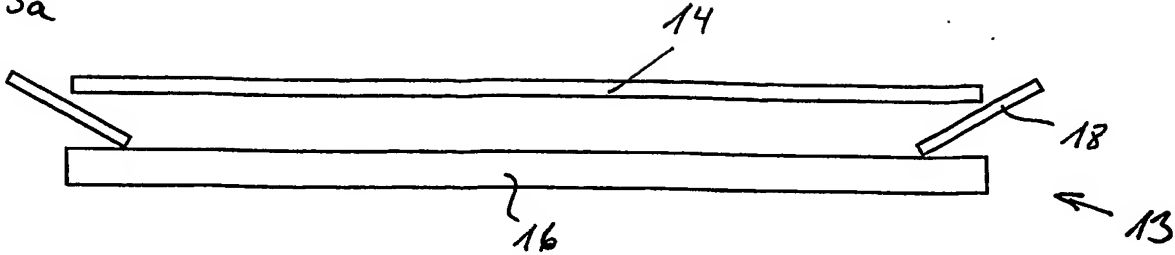


Fig. 3b

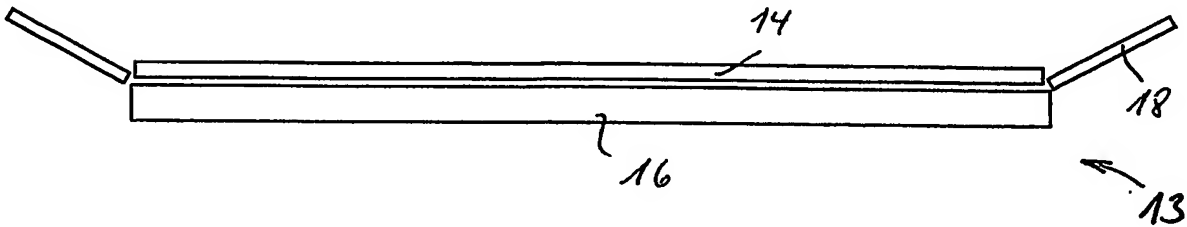


Fig. 4a

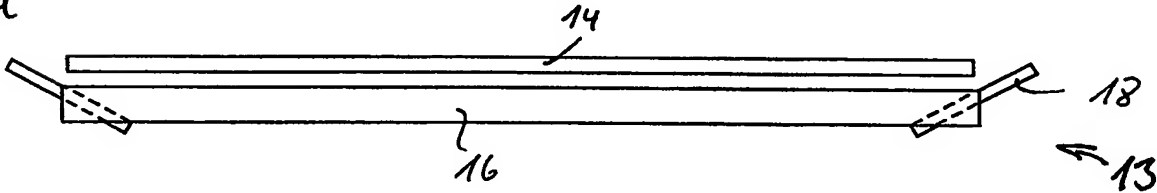
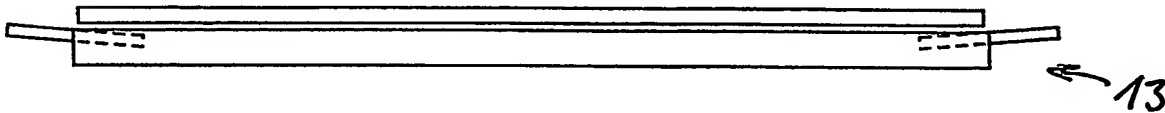
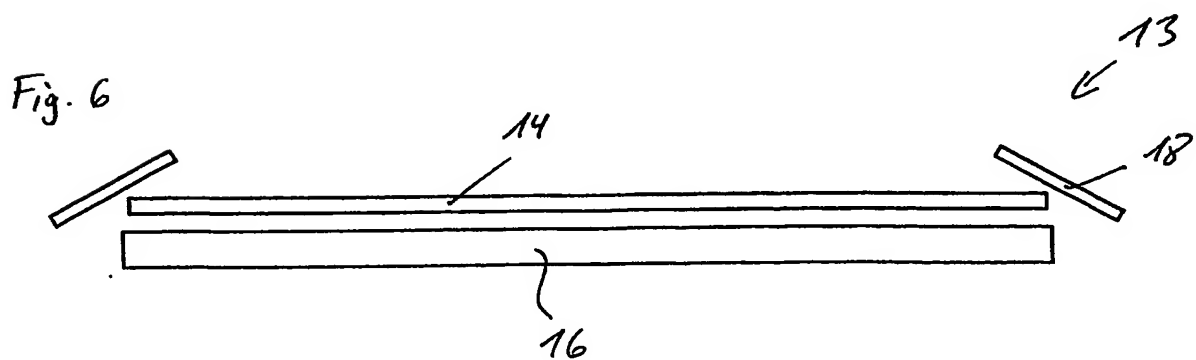
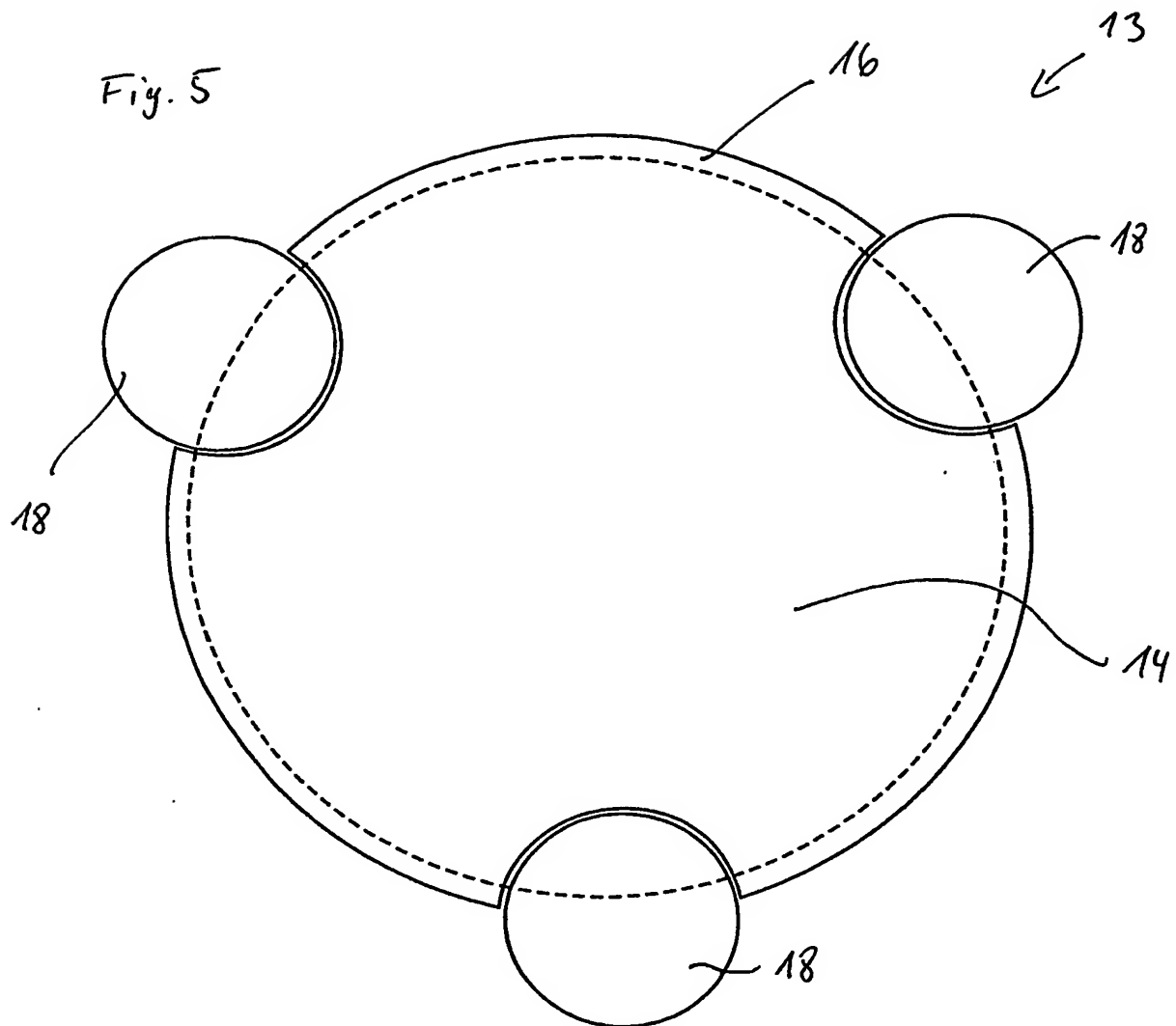


Fig. 4b





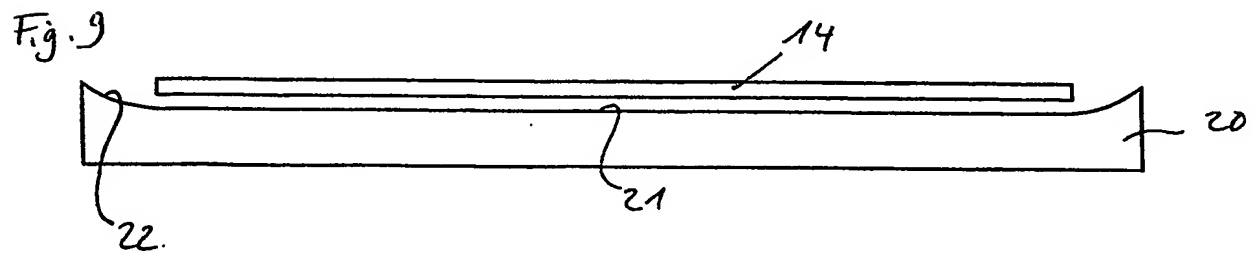
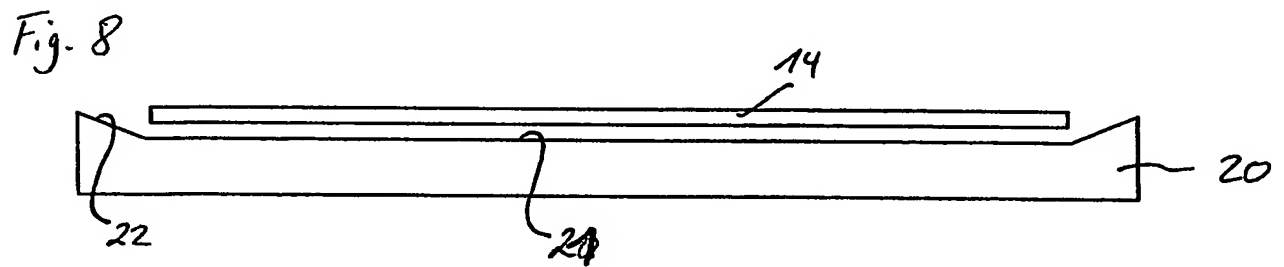
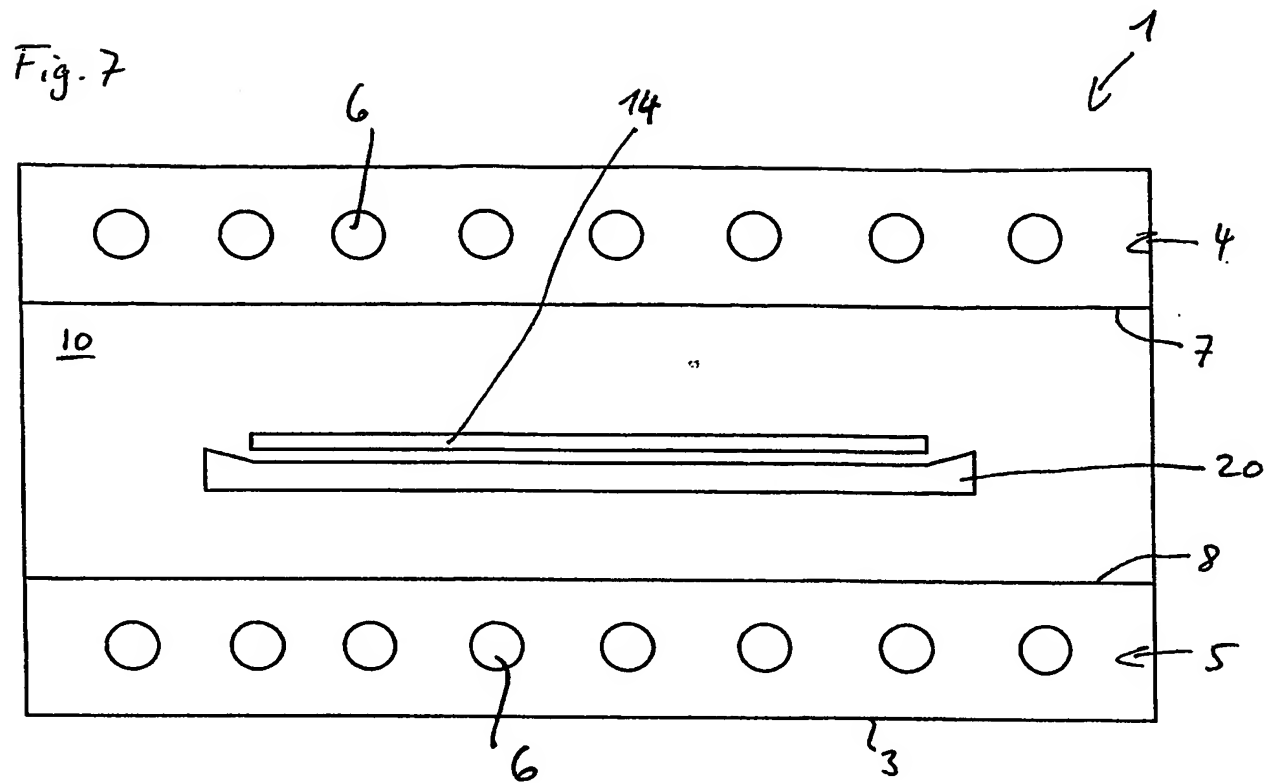


Fig. 10

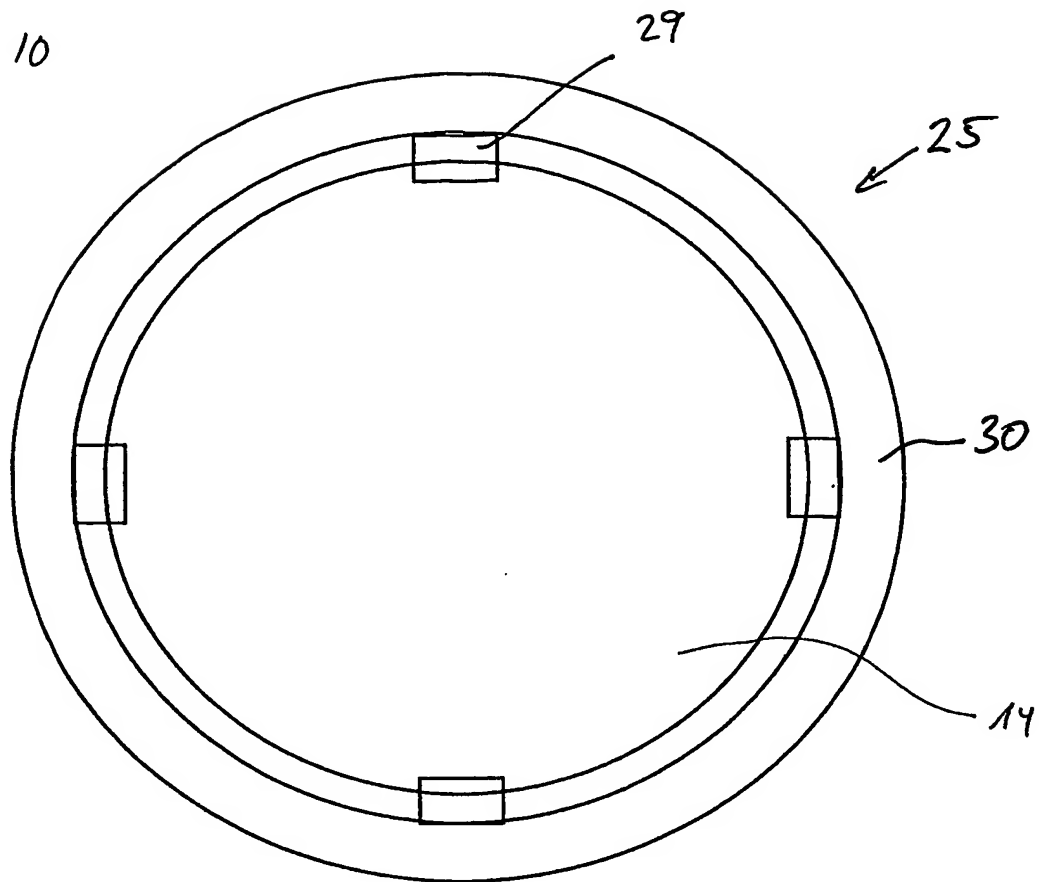


Fig. 11a

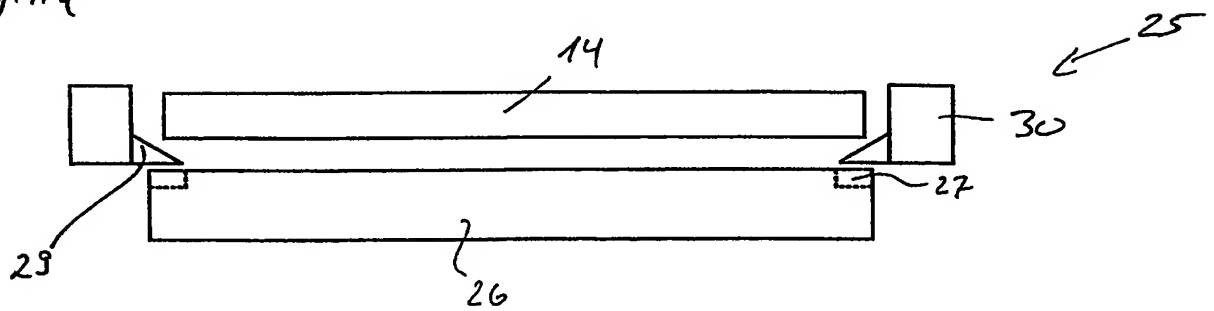


Fig. 11b

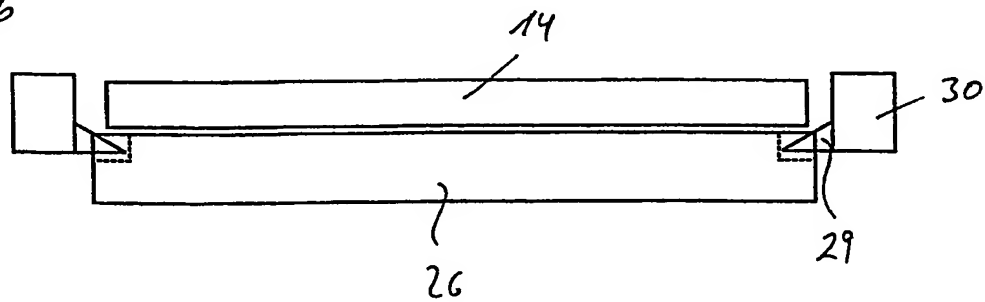


Fig. 12

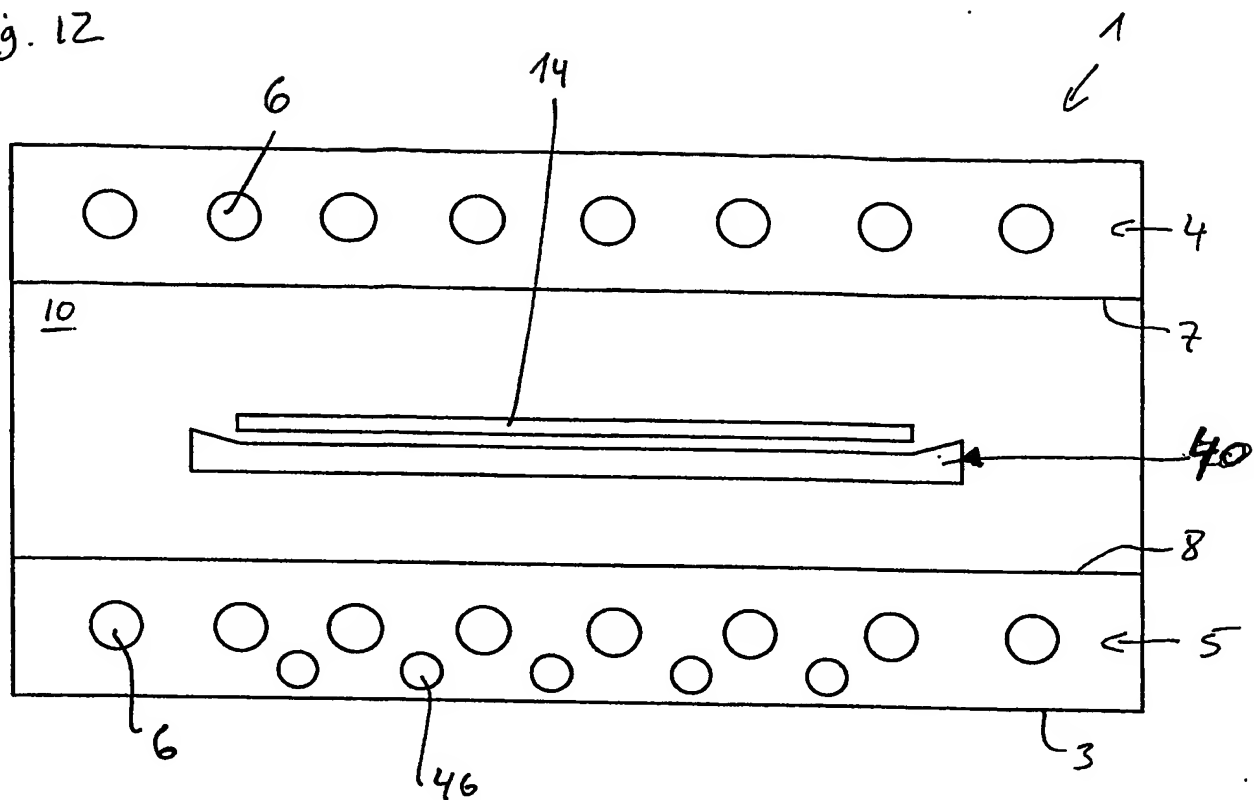


Fig. 13

